



TITLE:

博士論文概要

AUTHOR(S):

CITATION:

博士論文概要. Cue 2009, 21: 33-60

ISSUE DATE:

2009-03

URL:

<https://doi.org/10.14989/84704>

RIGHT:

博士論文概要

【課程博士一覧】

沢 口 義 人	「On Identification and Control of Multivariable Systems Including Multiple Delays and Their Application to Anesthesia Control」(複数のむだ時間を含む多変数系の同定と制御およびそれらの麻酔制御への応用)	平成20年 3 月 24 日
小 島 一 信	「極性・非極性面InGaN量子井戸レーザの光学特性に関する研究」	平成20年 3 月 24 日
中 村 大 輔	「Bulk Growth and Extended-Defect Analysis of High-Quality SiC Single Crystals」(高品質バルクSiC単結晶成長と構造欠陥の解析)	平成20年 3 月 24 日
堀 江 聡	「強誘電性分子蒸着薄膜における分極発生過程の解明と新規デバイス応用」	平成20年 3 月 24 日
石 原 邦 亮	「フォトリック結晶有機EL素子に関する研究」	平成20年 3 月 24 日
川原村 敏 幸	「ミストCVD法とその酸化亜鉛薄膜成長への応用に関する研究」	平成20年 3 月 24 日
洗 暢 俊	「負イオン注入法によるシリコン熱酸化膜中のナノ粒子形成」	平成20年 3 月 24 日
鄧 新 宇	「An English Text Generation System for Intermediate Non-Native Speakers Based on Corpus Analysis」(コーパス分析に基づいた中級ノンネイティブ向け英語文章生成システム)	平成20年 3 月 24 日
Kucera Stepan	「Cross-layer Design of Resource Management in Wireless Networks with Distributed Control Field of Research」	平成20年 3 月 24 日
浅 井 孝 浩	「Spatiotemporal Signal Processing for Highly-Efficient Broadband Wireless Communications」(高能率広帯域無線通信のための時空間信号処理)	平成20年 3 月 24 日

植 田 哲 郎	「MAC and Routing Protocols for Wireless Ad Hoc Networks Using Directional Antenna」(指向性アンテナを用いた無線アドホックネットワークにおけるMAC及びルーティングプロトコルに関する研究～アンビエント社会・エコ社会に向けて～)	平成20年 3 月24日
井 上 隆	「ダイバーシチ合成の理論解析法とアレーアンテナ信号処理技術に関する研究」	平成20年 3 月24日
清 水 洋	「A Study on Bandwidth Guaranteed Networks for Multimedia Services Integration」(マルチメディアサービス統合のための帯域保証ネットワークの研究)	平成20年 3 月24日
松 吉 俊	「Hierarchically Organized Dictionary of Japanese Functional Expressions: Design, Compilation and Application」(階層構造を持つ日本語機能表現辞書の設計、編纂および応用)	平成20年 3 月24日
嶋 吉 隆 夫	「細胞モデルの構築支援および生体機能シミュレーションの開発環境に関する研究」	平成20年 3 月24日
篠 原 尋 史	「ばらつきを考慮した微細化SRAMのメモリセル最適化と駆動法に関する研究」	平成20年 3 月24日
田 中 晶	「Study on Design Issues towards Highly Efficient Telecommunication Networks」(高能率通信ネットワークに向けた設計課題に関する研究)	平成20年 3 月24日
田 原 志 浩	「衛星通信およびレーダ用アレーアンテナ給電回路の低損失化に関する研究」	平成20年 3 月24日
八 木 将 計	「Analysis of Nonlinear Oscillations Using Computer Algebra」(計算機代数を用いた非線形振動の解析)	平成20年 5 月23日
Mohamed Lmouchter	「Eptaxial Growth and Characterization for Thin Films of Colossal Magnetoresistive Layered Manganates」(巨大磁気抵抗層状マンガン酸化物薄膜のエピタキシャル成長とその評価に関する研究)	平成20年 5 月23日
高 野 仁 路	「超小型・面内フォトリック結晶デバイスに関する研究」	平成20年 5 月23日

颯々野	学	「Practical Use of Large Margin Classifiers in Natural Language Processing」(自然言語処理におけるマージン最大化に基づく分類器の実用的な利用法)	平成20年9月24日
張	奇	「Study on an Integrated Analysis and Evaluation Methodology of Energy Systems for Sustainable Development」(持続的発展のためのエネルギーシステムの統合分析・評価手法に関する研究)	平成20年9月24日
二 谷 辰 平		「Multiscaling Analysis of Impurity Transport in Drift Wave Turbulence」(ドリフト波乱流における不純物輸送のマルチスケール解析)	平成20年9月24日
藤 野 秀 則		「情報通信技術を活用したスキルとモラル向上のための教育・訓練方法に関する研究」	平成20年11月25日

【論文博士一覧】

本 山 靖		「プラズマディスプレイパネル用電極材料の二次電子放出利得改善に関する研究」	平成20年1月23日
-------	--	---------------------------------------	------------

沢 口 義 人 (小林教授)

「On Identification and Control of Multivariable Systems Including Multiple Delays and Their Application to Anesthesia Control」

(複数のむだ時間を含む多変数系の同定と制御およびそれらの麻酔制御への応用)

平成20年3月24日授与

入力された信号が一定時間だけ遅れてそのまま出力される伝達要素をむだ時間と呼ぶ。むだ時間の例としては、パイプ内やベルト上の物質輸送、ネットワーク上の情報伝送、操作器や検出器での信号処理などに要する時間が挙げられる。むだ時間を含む系では、入力の影響が出力に現れるのに遅れがあるため、速やかな制御を行うことが容易ではなく、また理論的にも本質的に無限次元の系となり、離散時間系とした場合にも次数が非常に大きくなるため、扱いが困難である。本研究では、このようなむだ時間を含む系のうち、入出力経路に大きさの異なるむだ時間を含む多変数系(図1)を対象として、同定と制御に関する手法を提案するとともに、このような系の実際例として、全身麻酔時の薬物投与に対する生理指標の変化を考え、提案手法を全身麻酔制御に応用した。得られた成果は以下のとおりである。

- (1) 各入出力経路に大きさの異なるむだ時間を含む離散時間系のモデルの同定法を提案した。この同定法では、まず部分空間法により、与えられた入出力系列から各入出力間のインパルス応答を求めてむだ時間の大きさを同定し、つぎに同定したむだ時間ぶん推移させた入出力系列からシステム行列を同定する。この方法により、むだ時間とシステム行列を効率良く正確に同定できる。

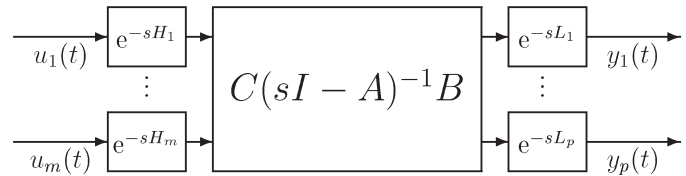


図1. 複数のむだ時間を含む多変数系(H_i : 入力むだ時間、 L_j : 出力むだ時間、 A, B, C : システム行列)

- (2) 各入出力経路に大きさの異なるむだ時間を含む連続時間系に対して、出力から集中定数部分(むだ時間を除いた部分)の状態を予測する状態予測器を提案した。この状態予測器は、オブザーバにより各出力から過去の状態を推定し、状態推移式により現状態を予測するもので、従来の方法よりも予測誤差が小さくなることが期待できる。
- (3) 各出力経路に大きさの異なるむだ時間を含む連続時間系に対して、上述の状態予測器を利用した状態予測サーボ系の設計法を導出するとともに、むだ時間とシステム行列に不確かさがある場合の状態予測サーボ系のロバスト安定解析法を提案した。これらの手法により、ステップ目標値に追従する制御系の構成と安定性が保証される不確かさの範囲の導出が可能となった。
- (4) 提案手法を全身麻酔時の麻酔制御に応用した。まず、モデル予測制御器を用いた静脈麻酔薬による鎮静度制御システムを構成し、臨床応用により、医師が投薬速度を調整した場合よりも正確に鎮静度を維持でき、投薬量も低減できることを示した。続いて、静脈麻酔薬と筋弛緩薬による鎮静度と筋弛緩度の同時制御を考え、提案手法を用いて同定およびサーボ系の設計を行った。また、シミュレーションとロバスト安定解析により、構成した制御系が十分な制御性能とロバスト性を持つことを示した。

以上のように、本研究は、入出力経路に異なるむだ時間を含む多変数系の同定法、状態予測器の構成法、サーボ系の設計法、およびロバスト安定解析法を提案し、その結果を全身麻酔の制御に応用して有効性を確認したものである。

小 島 一 信 (川上教授)

極性・非極性面InGaN量子井戸レーザの光学特性に関する研究

平成20年3月24日授与

III-V族窒化物半導体は紫外-青色領域で動作する短波長光源において発光層として使われる発光材料である。窒化物半導体の中でも、特にInGaNは光の三原色のうち青と緑をカバーするバンドギャップを有しているため、レーザスキャンディスプレイなどの次世代映像投射装置を実現し、さらに小型化・省電力化する上で不可欠な材料である。近年では、青色InGaN量子井戸(QW)を活性層とする半導体レーザ(LD)の出力が1Wに迫る水準に達しているが、さらに波長の長い緑領域に関しては室温連続発振に必要なしきい値電流密度が青色領域のそれと比べて非常に高い。このため、InGaN LDの緑色領域における低しきい値化・高出力化が望まれている。本研究では、InGaN LDの長波長化と低しきい値化を両立する手法として c 軸と角度 θ で交わるような非極性面(図1)上に成長したQWの利用に着目した。従来の極性面QWでは、ピエゾ分極に起因する大きな内部電界が発生し、量子閉じ込めシュタルク効果(QCSE)が顕著となることで輻射再結合確率が低下するという問題が深刻である。しかし非極性面を利用すればQCSEを軽減することが可能であることが分かっている。このような背景のもと、非極性面QWの光学特性の定量的解析・非極性面の持つ光学異方性とその制御方法の検討を行い、以下のような結果を得た。

- (1) 極性面($\theta = 0^\circ$)と比べて非極性面($\theta \neq 0^\circ$) InGaN LDの発振しきい値キャリア密度は、図2のように約3分の2に低減することが可能である。これは、極性面において問題となったQCSEが低減された結果だけでなく、価電子帯頂上付近の状態密度が非極性面において減少することによる。
- (2) 非極性面QWにおけるバンド間遷移は強く偏光しており、ではほぼ直線偏光である。このような強い偏光性は、量子閉じ込めによる価電子帯のバンドミキシングよりも活性層と基板材料(もしくは障壁層材料)の間の強い格子不整合によって生じる異方的な歪みに起因している。
- (3) 非極性面QWの偏光特性は、活性層の歪みを調整することで劇的に変化させることが可能である。例えばファブリペロー型の共振器を作る場合、ヘキ開による共振ミラーの作成が量産において重要であるにもかかわらず、無極性面GaN基板上のInGaN LDは c 軸に直交した偏光を持つ光学利得を生成するので都合がわるい。しかし、AlN基板上のInGaN LDはGaN基板上のものと比べて90度回転した方向に偏光した利得を生成するためヘキ開が利用できるようになる優位性がある。

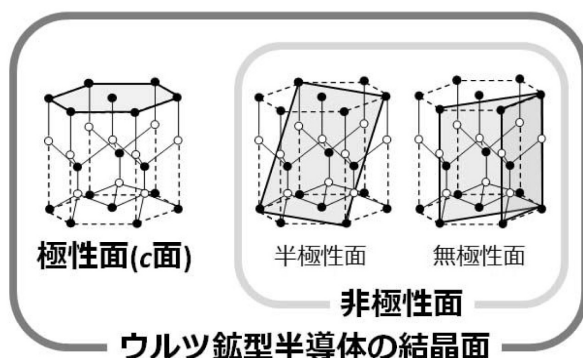


図1. 極性面と非極性面。極性面の法線を c 軸と呼ぶため、極性面は c 面とも呼ばれる。非極性面の成長(法線)方向は c 軸と角度 θ をなす。

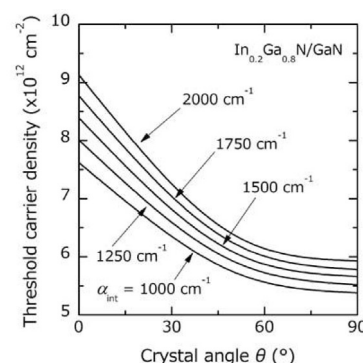


図2. InGaN LDにおけるしきい値キャリア密度の角度 θ 依存性。

中 村 大 輔（木本教授）

「Bulk Growth and Extended-Defect Analysis of High-Quality SiC Single Crystals」
（高品質バルク SiC 単結晶成長と構造欠陥の解析）

平成20年3月24日授与

炭化珪素（SiC）半導体は珪素（Si）半導体にくらべ、絶縁破壊電界が一桁大きいことから超低損失化、禁制帯幅が3倍大きいことから高温動作、熱伝導率が高いことから冷却システムの簡素化等の強みがある。SiCの物性を活かしたアプリケーションとしては、大電力を扱うパワーデバイス（ハイブリッド自動車のインバータ等）が挙げられる。これまで、SiCパワーデバイスの実現を阻む一因として、基板となるSiC単結晶の品質が問題となっていた。通常、SiCのバルク結晶の育成には昇華法と呼ばれる気相成長法が用いられる。この昇華法によるSiC成長においては、融液からの引き上げ成長で用いられるネッキング法などの転位低減手法が用いられないばかりか、2000℃を超える超高温での成長条件制御の難しさから、SiC単結晶中には高密度の結晶欠陥が導入されてしまう。そこで本研究では、SiC単結晶の高品質化と欠陥構造の解明を試みた。

1. 従来キラー欠陥とされているマイクロパイプ（MP）欠陥の低減を目指し、“MP修復法”を提案した。本手法はMP欠陥を含むSiC基板に3C-SiCヘテロエピタキシャル膜を形成し、本膜によりMP開口部を強制的に閉塞し、続く高温（～2200℃）でのアニールによって、基板中のMP欠陥を修復（中空⇒中実）させるものである。本MP修復法によってSiC基板中のMP欠陥をMP欠陥と3C-SiCヘテロエピタキシャル膜の界面を起点として十分な修復長（50 μm 以上）をもって修復することに成功した。さらに、TEMによる修復MP欠陥の構造解析と弾性エネルギー計算から、修復MP構造が超らせん転位の最安定構造であることを明らかにした。
2. デバイスの長期信頼性等に影響を及ぼすことが懸念されている転位欠陥の低減をも目指し、新規結晶成長手法として、“繰り返しa面成長法（RAF成長法）”を提案した。この手法において、第1成長としてa面成長を行い、第2成長において第1成長とは垂直な方向にa面成長を行い、最終成長においてc面成長を行う。本RAF成長法による逐次的な良質な種結晶の作製のみならず、良好な成長環境（熱応力低減、パーティクル混入防止、多形制御）の実現により、MP欠陥が皆無であるばかりか、転位欠陥が大幅に少なく（転位密度で従来比 1/100～1/1000）、小傾角粒界や結晶格子の歪みがほとんど無い4H-SiC単結晶の成長を実現した。また、低転位密度結晶の大型化も試み、結晶品質が非常に高い大型結晶（ ϕ 2～3インチ）が得られた。
3. RAF成長法により作製された低転位4H-SiC単結晶中の転位構造を放射光X線トポグラフィによって詳細を調べ、転位の性質および発達過程の解明を試みた。低転位4H-SiC基板中の転位ネットワークは主に、①基底面内らせん転位、②貫通混合転位、および③短い（30～100 μm ）貫通刃状転位、から構成されていることがわかった。さらに、貫通混合転位については、放射光白色セクショントポグラフィによるバーガースベクトル符号の決定を試みた。c軸方向のバーガースベクトル符号において、右手巻きと左手巻きの符号を持つ混合貫通転位の存在比率はそれぞれ同程度であり、異符号転位同士は同符号転位同士に比べて短い距離分布（200 μm 以下）を持つことがわかった。これらのことから、貫通混合転位の起源は転位対生成であること、また従来考えられていたらせん転位の応力範囲（～数10 μm ）を超える範囲の弾性相互作用が転位の継承様式と分布に影響を与えている可能性が示された。

堀 江 聡（松重教授）

「強誘電性分子蒸着薄膜における分極発生過程の解明と新規デバイス応用」

平成20年3月24日授与

超薄型、軽量、フレキシブルな発光パネルやトランジスタに代表される有機薄膜デバイスの発展は今後のエレクトロニクス業界で大いに注目されている。こういった多彩な分子機能のなかで、本研究では、強誘電性に着目した。これは、極性分子のもつ電気双極子モーメントによる電気特性を利用したもので、圧電、焦電（赤外線）センサ、アクチュエータ、さらには不揮発性メモリへの応用が期待されている。なかでも、フッ化ビニリデン（VDF）オリゴマーは、強誘電性を示す分子の中でも大きな分極量を有しており、各種デバイスへの実用化が期待されている。

本研究では、VDFオリゴマーを用いた強誘電デバイスの実用化を加速させるため、新規作製プロセス実現に向けた薄膜形成過程での強誘電性発現過程の解明と、VDFオリゴマー薄膜と電極からなるデバイスの基本構成における物性評価、ならびに論理演算素子への新規応用の3つを中心として遂行した。

第一に、VDFオリゴマー成膜過程における強誘電性発現を、成膜過程の分子鎖構造変化の「その場」観察によって検証した。図1に示すように、赤外線分光法（FT-IR）でのスペクトル変化から、低温状態での成膜から室温に回復する過程で分子鎖構造に変化が見られた。成膜直後の低温下では、強誘電性を示す分子鎖構造にはなっていないが、実際に使用する室温近傍になると、I型と称する顕著な強誘電性を示す構造に変化していることが判った。このような構造変化に加え、電気特性の「その場」観察も併せて行い、強誘電性発現の温度依存性について明らかにした。さらに現状成膜プロセスよりも短時間で強誘電性薄膜を作製できるプロセス（HSD）を考案し、作製時間を1/10以下に短縮することができた。

第二に、デバイス基本構造であるVDF薄膜と電極からなるキャパシタ構造での強誘電特性における電極依存性を調べ、電極/VDF薄膜界面での電荷移動状態について考察した。

第三に、VDFオリゴマー薄膜の低温作製プロセスを利用した積層型の論理演算素子を提案した（図2）。これは、単一素子で、AND、ORといった複数の論理演算を行うことができるプログラマブル素子であって、従来のMOS型トランジスタよりも効率的に演算処理を実行することができると考えられる。試作の結果、単一素子でAND、OR演算ができることを実証し、提案モデルが妥当であることを示した。

また、本研究成果である短時間成膜方法（HSD）を活用し、圧電、焦電（赤外線）センサへの産業応用を目指すべく、継続して研究・開発を進めている。

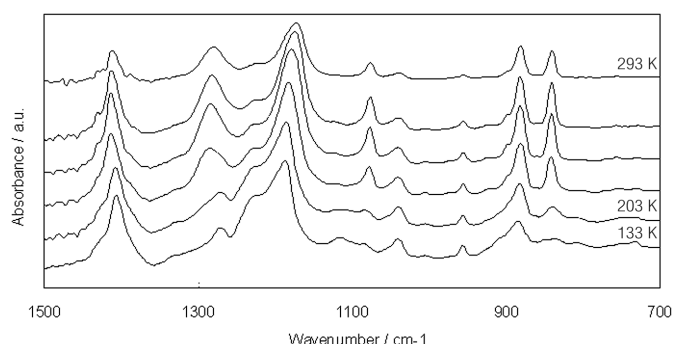


図1. 薄膜作製過程における強誘電相への変化
（図左は基板温度を示す）

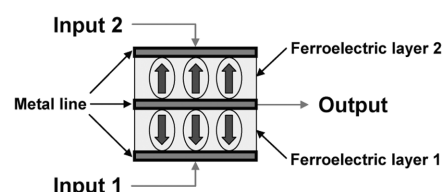


図2. 新規論理演算素子の概念図

石 原 邦 亮 (野田教授)

「フォトニック結晶有機EL素子に関する研究」

平成20年3月24日授与

有機EL素子は、次世代の薄型ディスプレイに用いられる発光デバイスとして本命視されているデバイスの一つである。有機EL素子が克服すべき課題点のひとつに、素子内で発生した光を十分に高い効率で取り出せていないことが挙げられる。本研究は、光を自在に制御できるナノ構造体であるフォトニック結晶の導入により素子内部に閉じ込められた光を取り出し、より高効率・高機能な有機EL素子を実現することを目的としている。本研究で得られた主な成果は以下の通りである。

(1) フォトニック結晶有機EL素子の光学特性解析手法の開発

有機EL素子からどのように光が取り出せるかは、素子内の光の存在の仕方とフォトニック結晶の構成の仕方によって決まる。有機EL素子内の光の挙動を把握するため、数値計算(転送行列法)を用いて解析した。屈折率・吸収に関する材料分散を考慮できるよう手法を拡張することで、金属陰極などの影響を正しく取り込んだ解析を可能とした。このことから、発生した光の大部分が表面プラズマモードと呼ばれる金属陰極界面に強く局在した状態になっていることがわかり、金属/有機層界面へのフォトニック結晶導入が光を取り出す上で非常に有効なことを明らかにした。このような、金属フォトニック結晶の解析はいまだ困難な分野であるが、Chandezon法とバンド計算法の融合を図り、フォトニック結晶の周期性と有機EL素子の積層情報を取り込んだフォトニックバンドを求めることを可能にした。

(2) フォトニック結晶を導入した有機EL素子の作製手法開発

有機EL素子に導入するフォトニック結晶の作製に当たっては、ナノメートル単位の寸法精度と、メートル単位の加工面積を同時に視野に入れておかななくてはならない。このため、ナノインプリント法と呼ばれるリソグラフィ技術を利用して、フォトニック結晶を高精度・大面積・短時間に形成する手法の開発を行った。有機EL素子の基板材料であるガラスに着目し、その熱可塑性を利用した直接インプリント、続いて、スピン・オン・ガラス材料を用いた室温インプリントによるフォトニック結晶形成プロセスを構築し、フォトニック結晶有機EL素子の作製・動作実証を果たした。作製した素子を通じて、フォトニック結晶の導入による輝度の向上を確認し、加えて、消失性干渉や状態密度の増加に伴う発光強度の向上といった、フォトニック結晶ならではの発光状態への変調効果が有機EL素子においても生じている点を明らかにした。さらに、光吸収のない有機材料を用いた光取り出し効果のさらなる向上、結晶周期を利用した発光ピーク波長制御による彩度改善、色素ドーピングによる高輝度素子の作製といった成果を上げている。

以上の通り、本研究はフォトニック結晶有機EL素子を実現するために必要な一連の設計・作製工程を確立したものである。本研究で得られた知見は、今後のフォトニック結晶、有機EL素子およびそれらの周辺・融合分野の発展に大きく寄与するものと考えている。

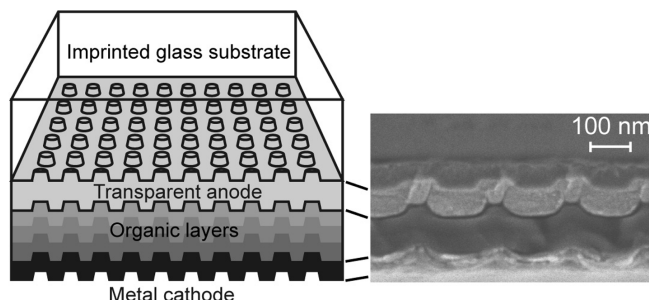


図1. フォトニック結晶有機EL素子. 左概略図、右断面SEM像

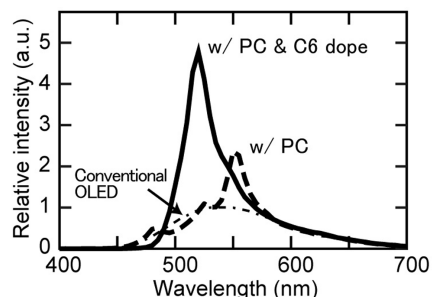


図2. フォトニック結晶有機EL素子の発光スペクトル

川原村 敏 幸（藤田教授）

「ミストCVD法とその酸化亜鉛薄膜成長への応用に関する研究」

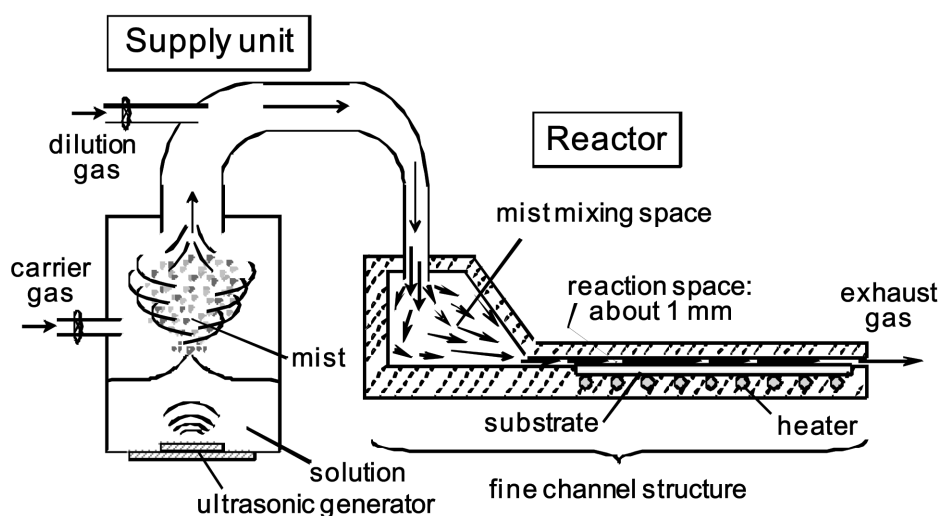
平成20年3月24日授与

地球環境に優しい持続的な社会発展に向けて、半導体の研究においても、非毒性かつ資源が豊富な元素で構成される新材料を開発し、しかもそれを安全で環境負荷の低い技術で成長するという姿勢が強く求められている。酸化物は、多くの金属元素にとって最も安定な形であり、多様な機能を持つことが知られている。またその成長においては、原料として構成元素を含む水溶液やアルコール溶液を利用でき、さらには大気中における開放系での成長の可能性がある。このような観点から、本研究では、酸化物半導体に対する環境負荷の低い成長技術としてミストCVD法の開発を図り、その応用例として酸化亜鉛（ZnO）多結晶および単結晶薄膜の成長特性と高品質化について調べた結果をまとめたものである。

成長の原料には構成元素を含む安全なもの、例えばZnOの成長には酢酸亜鉛などの水溶液またはアルコール溶液を用い、これを超音波で霧化してキャリアガスで反応部に輸送し基板上で成長させる。溶媒中の超音波伝搬、気体の衝突混合、流路中での分布、熱伝導のシミュレーション等を通じて原料の利用効率と均一性に優れた成長のための条件を見出して、成長装置を開発した。一例を図に示す。

この成長技術のポテンシャルを明らかにするため、各種ZnO薄膜の成長に応用した。ZnOは透明導電膜、薄膜トランジスタ、紫外光デバイス、光・電子・磁気機能融合デバイス等広い応用が期待され、大面積基板への低コストでの成長、高品質単結晶の作製などに強い要望が寄せられている材料である。ガラス基板上では、300～500℃でc軸配向し、100mm基板面内での厚さ分布 $\pm 3\%$ 、可視域光透過率90%以上、波長370nmに急峻な光吸収端を持ち、室温でバンド端フォトルミネセンスのみを示す高品質多結晶ZnO薄膜を実現した。Alのドーピングにより $10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 台の低い抵抗率を得て、大きな環境負荷が昨今の問題になっている酸化インジウムスズ（ITO）透明導電膜に対し、成長技術・特性の点で高い利点を与える優れた結果である。さらに、MgZnO混晶により3.3～3.75 eVの禁制帯幅制御と波長選択性を持つ紫外検出器への適応性を示した。一方、サファイア基板上の800℃での成長により、単結晶ZnO薄膜を実現して、移動度 $20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を得た。この結果は、その後バッファ層の導入により、 $70 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と気相成長によるZnOとして世界的に高いレベルの値を得る成果に引き継がれた。

さらに、本技術の応用として、Al、Cu、Ga等の酸化物薄膜、混晶半導体、微粒子等幅広い酸化物材料の成長を実証し、ミストCVD法が各種酸化物材料の機能探索と応用に向けて、低い環境負荷と高品位材料成長の両面から支えることのできる有望な技術であることを示した。



洗 暢 俊 (石川教授)

「負イオン注入法によるシリコン熱酸化膜中のナノ粒子形成」

平成20年3月24日授与

半導体集積回路製造におけるスケール縮小による集積度向上の限界を超えるものとして、ナノドットデバイスの開発が望まれている。この実現にはナノ粒子（ナノドット）を極めて薄い酸化膜中に精度良く形成すること、つまり、深さ位置、分布幅、サイズ、密度などを高度に制御してナノ粒子を形成し、そして、形成したナノ粒子の形成状態を非破壊で瞬時に評価するという基本的なナノ粒子形成と評価技術が必要となる。本論文は、次世代のナノドットデバイス製造技術への応用を目指して、負イオン注入法による粒径や形成位置を制御した薄膜中でのナノ粒子製造技術とナノ粒子形成状態の非破壊評価法について研究した成果を纏めたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 光反射特性による絶縁物中のナノ粒子状態評価法

非破壊の光反射特性によるナノ粒子形成状態評価法として、ナノ粒子による表面プラズモン共鳴（SPR）吸収を利用した手法を提案し、シリコン基板上の熱酸化薄膜中にナノ粒子層が形成された3層構造モデルで、銀や金負イオン注入で厚さ50 nmの熱酸化薄膜に形成したナノ粒子の状態として、粒径、充填率（ナノ粒子を形成する原子の密度）、形成深さ位置とその分布幅などを光反射特性をもとに解析し、これを断面TEM観測により確かめて、光反射特性と3層構造モデル計算のフィッティングで精度よくナノ粒子の形成状態を評価できることを実証した。

2. 負イオン注入法によるナノ粒子の高精度制御形成法

まず、注入原子によるナノ粒子形成には、原子の凝集距離と注入による深さ分布、更には、加熱処理における熱拡散がナノ粒子の形成位置、粒径、分布状況に及ぼす影響を実験的に解明した。そして、注入分布幅制御を基に、厚さ50 nmの熱酸化薄膜への極低エネルギー注入で、図1の様に深さ数nmの薄膜表層に金ナノ粒子の単層形成を、また、凝集距離約10 nmを利用してゲルマニウムナノ粒子も深さ12 nmの膜中央部で単層に形成した（図2参照）。また、注入原子の熱拡散を利用して、界面より2 nmの膜底面近傍に銀ナノ粒子の単層形成を実現した（図3参照）。いずれの場合も粒径を6 nm程度とほぼ一定粒径のナノ粒子が得られており、負イオン注入法と熱処理により、ナノ粒子の粒径や形成深さ位置などを高精度で制御し得るナノ粒子製造技術を開発した。

3. 負イオン注入形成したナノ粒子含有絶縁薄膜の電気的特性

負イオン注入で形成した銀やゲルマニウムのナノ粒子を含有する厚さ25 nmの熱酸化薄膜の表裏にアルミニウム電極を蒸着して、容量-電圧特性を測定した結果、ヒステリシス特性を観測し、ナノ粒子の電子保持能力を証明した。更に、銀負イオン注入した厚さ50 nmの熱酸化膜やゲルマニウム負イオン注入した厚さ25 nmの熱酸化膜を700℃の熱処理後に、その電流-電圧特性を測定して、室温でクーロン遮蔽によるクーロン階段特性を得た。これより、ナノ粒子が関与する電気的特性は次世代ナノドットメモリーデバイスとして応用できる可能性を示した。

以上、本論文は、負イオン注入法によるシリコン熱酸化膜中のナノ粒子形成に関して、負イオン注入法を用いてサイズや深さを制御した高精度ナノ粒子形成法と光反射特性を利用した非破壊でのナノ粒子形成状態評価法を提案するものであり、形成したナノ粒子は電子保持能力や室温下のクーロン遮蔽を確認した。今後、次世代の半導体としてナノ構造による単電子効果を利用したデバイス開発に発展に寄与するものと期待される。

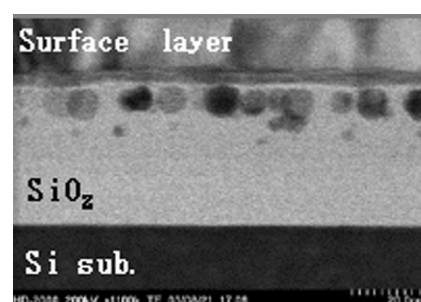


図1. SiO₂薄膜表層に形成した単層金ナノ粒子 (Au⁺: 1 keV, 900℃アニール)

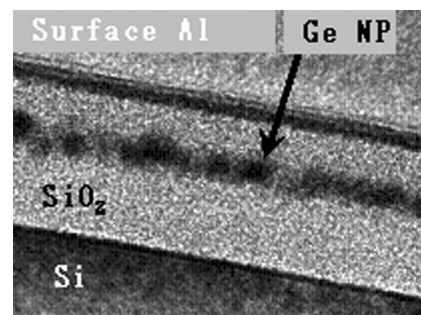


図2. SiO₂薄中央に形成した単層Geナノ粒子 (Ge⁻: 10 keV, 700℃アニール)

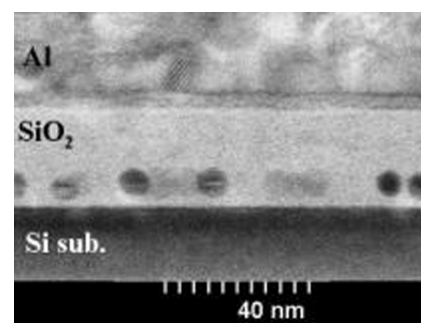


図3. SiO₂薄膜底面に形成した単層銀ナノ粒子 (Ag⁻: 10 keV, 700℃アニール)

鄧 新 宇（松山教授）

An English Text Generation System for Intermediate Non-native Speakers based on Corpus Analysis

（コーパス分析に基づいた中級ノンネイティブ向け英語文章生成システム）

平成20年3月24日学位授与

本研究では、日本や中国の高等学校において使われている英語教科書に載せられた英文のコーパスを構築し、文章中の接続詞や句読点の配置、順序に関する特徴分析に基づいて、英語中級ノンネイティブ（英語を母語としないが英語能力が中級レベルの人）にとって理解しやすい構造を持った英語文章を生成するシステムを開発し、その有効性を実験的に示した。

英語が国際標準語として普及するにつれ、世界規模で見た場合、ノンネイティブの人口がネイティブの倍ほどにも達し、ノンネイティブにとって理解しやすい英語文章を生成することの重要性が高まっている。文章の読み易さを評価する手法については、様々な観点からの研究がこれまでに行われて来たが、本研究では、文章の修辞構造を表す木構造から、接続詞や句読点で文が結ばれた文章を生成するという、文章構造生成レベルに焦点を当ててノンネイティブに適した英語文章生成システムを開発した。

まず、ノンネイティブ向け英語文章として収集した40万語からなるテキストに対して、修辞構造を付加するためのアノテーション法を考え、出現頻度の高い6種類の接続詞および句読点の配置を規定すると考えられる特徴として、文章の全体的構造に係る8特徴、埋め込み構造に係る10特徴を定め、これらの特徴の有効性を決定木学習システムC4.5およびサポートベクトルマシンを使った学習、分類実験によって評価した。

次に、6種類の接続詞および句読点のそれぞれに対して、修辞構造が与えられた場合、どのような特徴によってその配置が定められるのかをコーパスに基づいて分析し、各接続詞、句読点ごとに文章中での配置の適切性、すなわちノンネイティブにとっての文章の読み易さを表すランク付けルールを導出した。得られたランク付けルールに基づいて設計された評価関数を遺伝子の適合度とする遺伝的アルゴリズムを開発し、与えられた修辞構造からノンネイティブが理解しやすい文章を生成するシステムを開発した。

最後に、システムで生成された文章の読み易さを、システムが生成した文章と元のコーパス中の文章との一致性を評価する方法および、システムが生成した文章が人間にとって読み易いか否かを主観的アンケート調査によって評価する方法の2つの方法で評価し、いずれの評価法においても、システムが生成した文章がノンネイティブにとって読み易いものとなっていることを実験的に明らかにした。

以上本研究では、数億人にも上るといわれる英語中級ノンネイティブにとって読み易い英語文章を生成することを目的として、ノンネイティブ向け英文コーパスの構築とその特徴分析、その結果に基づいた文章生成システムの開発を行い、実験的にその有効性を示した。

Kucera Stepan (吉田教授)

「Cross-layer Design of Resource Management in Wireless Networks with Distributed Control」

平成20年 3 月 24 日 授与

FIELD OF RESEARCH

A well-known application of wireless technology with world-wide success consists in cellular networks, which enable the use of portable phones. Cellular networks are based on dividing a geographical network area into so-called “cells”. Each cell contains an immobile cell management unit that communicates with nearby mobile terminals and carries out *centralized* network control tasks within the cell.

However, such a network architecture uses (i) simple one-hop routing of data from the mobile users to single (immobile) access point; (ii) lacks peer-to-peer modes and adaptivity features and (iii) contains an immobile (cellular) infrastructure. Therefore, it is expensive, slowly deployable and vulnerable. These well-known facts result in limited potential to enable modern data applications beyond the elementary voice/messaging applications.

In our research, we have been engaged in theoretical analysis and practical development of a more advanced technology for distributed wireless networking, which allows independent mobile users to (i) self-configure and form a network *without* the aid of any established infrastructure; (ii) handle the necessary control and networking tasks *by themselves* using distributed control algorithms; (iii) communicate efficiently with relatively far parties by *multihop connections*, in which intermediate nodes forward data packets toward their final destination.

Such a design concept allows rapid deployment and reconfiguration of wireless networks and assures their high robustness in virtue of distributivity, node redundancy and the lack of single points of failure.

ACHIEVED RESULTS

Using advanced mathematical tools of game-theory, Lyapunov stability analysis and nonlinear system control, we have developed an extensive information-theory framework, which provides for (i) theoretical analysis of fundamental mechanisms for enabling distributed wireless networking and (ii) their practical implementation via mutually optimized algorithms. Especially, we have proposed and mathematically proven the convergence of several advanced algorithms, which implement fundamental network mechanisms such as transmit power control and transmission scheduling in a fully distributed and asynchronous way [1].

The proposed algorithms search effectively for optimum equilibrium transmit powers and rates based on the equilibrium concept of the John Nash, Nobel Price Laureate (1994). Moreover, the algorithms simultaneously track down networking conditions so that network users can adapt to their variations. Extensive numerical simulations prove that the proposed architecture convincingly outperforms comparable schemes.

APPLICATIONS

In terms of specific applications, our results are currently used to technologically implement the so-called “2-Dimensional communications” project at the *National Institute of Information and Communications Technology* (NICT). This project focuses on developing a new form of room-size networks, whose independent users communicate with each other by microwave transmissions sent over a very thin planar sheet, representing the communication medium.

In this way, a large number of sensor chips can be interconnected without electrical contacts or wiring, whereby the simplicity of this system allows the communication sheet to be placed on walls, desks, floors, and even clothing.

Such a design enables, for example, the interconnection of a desktop computer with a mouse and keyboard by simply placing them on a table with a special sheet cover using the “just put on and use” concept (see Fig. 2). Individual computer parts can be moved or replaced, whereby the sheet substitutes all wires and provides for power supplies as well.

REFERENCES

[1] Štěpán Kučera, Sonia Aïssa, Koji Yamamoto, and Susumu Yoshida, “Asynchronous distributed power and rate control in ad hoc networks: A game-theoretic approach,” *IEEE Transactions on Wireless Communications (IEEE TWC)*, Jul. 2008.

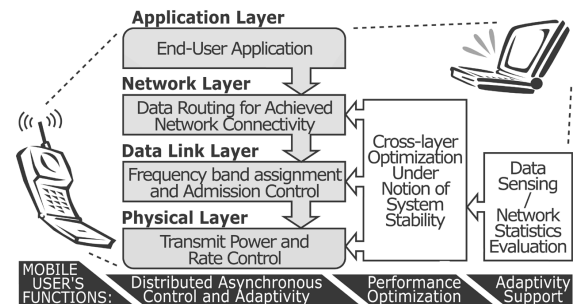


Fig.1. Schematic illustration of the proposed network architecture - mobile terminals are implemented using distributed and adaptive algorithms in four system layers. Original cross-layer optimization guarantees system stability.

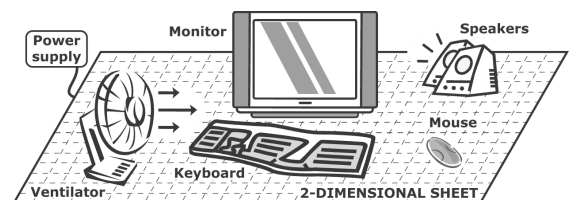


Fig.2. Application example of the proposed networking technology - user-friendly setup of a desktop computer. A thin conductive sheet substitutes classical wires and serves both as a communication medium and power supply.

浅井孝浩（吉田教授）

「Spatiotemporal Signal Processing for Highly-Efficient Broadband Wireless Communications」（高能率広帯域無線通信のための時空間信号処理）

平成20年3月24日授与

無線セルラネットワーク型の移動体無線通信サービスは近年では加入者数の増加は収まりつつある一方で、高速データ伝送に対する需要はデータ通信における定額料金制度の導入も一助となり、増加の一途をたどっている。限られた周波数資源において高い周波数利用効率での運用が求められる無線通信において、高速データ伝送を実現するためには建物などによって反射して受信されるマルチパス遅延波への対策が必須であり、特に高速データ伝送に向けて信号帯域を拡大するほど、シングルキャリア系の無線通信方式におけるマルチパス対策技術の重要性は大きくなる。さらに、セルラ型の無線ネットワークにおいては、同一周波数を利用する隣接セルからの干渉波対策技術も非常に重要となる。

そこで本論文では、セルラ型の無線ネットワークにおける高速データ伝送及び周波数の有効利用を目的とした時間・空間信号処理技術の確立に向けて、その前半では、①等化器を用いた時間領域における信号処理と、②複数アンテナを有するアダプティブアレーを用いた空間領域における信号処理、を組合せた時間・空間等化器について、その実用性の向上及び検証を目的とした提案・検討を行い、後半では周波数の使用効率向上を実現する新しい手法として近年注目を集めている、時間・空間における一時的な空き周波数を再利用するための信号処理技術について検討を行った。

図1に本検討で用いた時間・空間等化器におけるビームパターン生成の概念図を示す。複数アンテナを用いた空間領域における信号処理（Spatial Equalizer）により、長い遅延時間差を有するマルチパス遅延成分と干渉成分の受信利得を低減することができ、時間領域における信号処理（Temporal Equalizer）により、短い遅延時間差を有するマルチパス遅延成分を合成して利用することができるため、受信信号品質の改善が可能となる。図2に受信信号の到来方向推定結果と、生成されたビームパターンの屋外実験結果の一例を示す。到来方向推定結果（図2（a））より、約 -15° の方向から最大受信電力を有する直接波が受信されていることに加え、約 20° 、 10° の方向から強い電力を有する不要波（遅延波）が受信されていることがわかる。この到来方向推定結果に基づいて、本検討で提案したビーム／マルチ同時ステアリング型の指向性生成アルゴリズムを用いることにより、直接波方向に対して最大の利得を有すると同時に、不要波方向の利得を低く抑えるビームパターンの生成が可能となる（図2（b））。

さらに本論文では、時間・空間領域での信号処理を行う上で必要となる伝搬路状態の推定を、並列パイプライン処理により効率的に実現可能なシストリックアレー構成について検討を行い、量子化誤差等を考慮した実用的な観点においても十分良好な推定精度を得ることが可能であることを明らかにした。また、CDMA方式における時間領域での信号処理方法としてマルチパス干渉キャンセラの検討を行い、理想環境と実環境における特性改善効果の差異を明らかにするとともに、実環境下においても高速データ伝送を実現する上で有効であることを明らかにした。

本論文の最後では、時間・空間の一時的な空き周波数を再利用する信号処理技術についての検討も行っているが、これらを含めた時間的・空間的な信号処理技術の追求が、限られた周波数資源を有効に利用する上で、今後も引き続き重要となると考えられる。

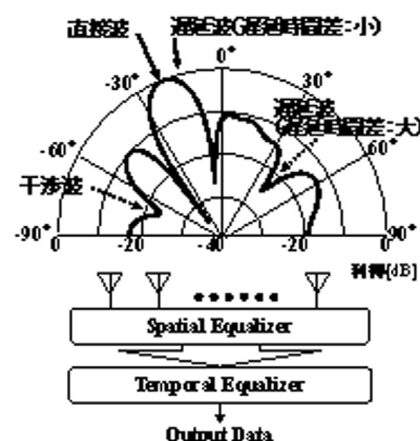


図1. 時間・空間等化器

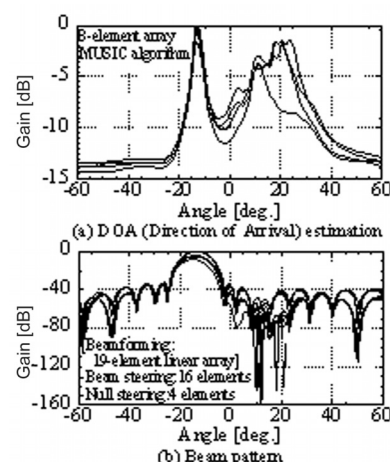


図2. 到来方向推定結果とビームパターン

植 田 哲 郎 (吉田教授)

「MAC and Routing Protocols for Wireless Ad Hoc Networks Using Directional Antenna」

(指向性アンテナを用いた無線アドホックネットワークにおけるMAC及びルーティングプロトコルに関する研究 ～アンビエント社会・エコ社会に向けて～)

平成20年3月24日授与

近年、軍事通信や車車間通信などでの応用を中心としたアドホックネットワークに関する研究が行われている。指向性アンテナは、干渉低減により同時通信数を増加させスループットを向上させることができる。本論文では、無線アドホックネットワークという分散ネットワークにおいて各ノードが自律的に隣接ノードの方向・通信状態を活用することにより効率的な同時通信をマルチホップにおいて実現するためのメディアアクセス制御及びルーティングプロトコルを提案するとともに、テストベッドによる評価を行ったものであり、得られた主な研究成果は次の通りである。

(1) 提案する隣接ノードの方向情報更新手法により従来方式に比べオーバーヘッドを85%以上削減
(2) 上記隣接ノードの方向情報更新手法と提案指向性メディアアクセス制御プロトコルを用いるとスループットは無指向性メディアアクセスプロトコルに比べて約1.8倍に向上。
(3) 上記隣接ノードの方向情報更新手法と提案指向性メディアアクセス制御プロトコルと更に提案指向性ルーティングプロトコルを用いるとスループットは無指向性メディアアクセスプロトコルを用いたAODV (Ad hoc On Demand Distance Vector) ルーティングプロトコルに比べ約3倍から5倍に向上。
(4) 上記隣接ノードの方向情報更新手法と提案指向性メディアアクセス制御プロトコルを用い、更に提案指向性ルーティングプロトコルをQoSルーティングとして使用すると、低優先度フローのスループットを劣化させずに高優先度フローのスループットを約2倍以上改善。
(5) テストベッド評価により、適切なキャリアセンスレベル設定により、ビーム幅が広い指向性アンテナを用いても同時通信が可能。

以上、本論文は、今後のユビキタスネットワーク社会において重要な役割を担うと期待される無線アドホックネットワークにおいて、指向性アンテナを用いたMACプロトコル及びルーティングプロトコルを提案しその改善効果を明らかにしたものであり、ユーザーにカスタマイズした適用と指向性アンテナ活用による消費電力削減が可能であり、「今だけ、ここだけ、あなただけ」のサービスを行うアンビエント社会とエコ社会実現に向け、学術上、実用上寄与するところが少なくない。

井 上 隆（吉田教授）

「ダイバーシチ合成の理論解析法とアレーアンテナ信号処理技術に関する研究」

平成20年3月24日授与

携帯電話サービスは、無線通信技術の飛躍的な進歩に支えられ、国内外において急速に普及した。日本国内における携帯電話サービスの契約者数は、既に1億を超えている。現在の携帯電話サービスでは、符号分割多元接続（CDMA）方式をベースとする第3世代移動通信方式（IMT-2000）が主に用いられている。第2世代移動通信方式までは音声（電話）が主なサービスであったのに対して、第3世代方式では、広帯域通信が可能となり、画像や音楽配信等のデータ通信の割合も着実に増えている。近い将来に導入が検討されている3.9世代システムやその後のIMT-Advancedと呼ばれる第4世代システムでは、高速広帯域データ通信が移動通信サービスの主流になるものと予想される。

移動通信は無線伝送路を用いる通信であり、有限な周波数帯域を効率的に使用しつつ、高品質の伝送を如何に実現するかが鍵となる。携帯電話基地局と携帯端末間の無線伝送路は、建物等で遮られた見通し外通信路である場合が殆どである。送信局から送信された電波は、反射や回折を繰り返しながら、複数の経路を通して受信局に到達し、個々の経路は携帯端末の移動に伴って時々刻々と変化する。すなわち、受信信号のレベルや位相は時間とともに変動する。さらに、広帯域信号の場合は、複数経路間の時間差によって信号歪みを生じる。よって、高品質な広帯域伝送を実現するには、使用する周波数帯域での電波伝搬路の特性を正しく把握するとともに、伝搬路で生じる変動や信号歪みを克服し、周波数利用効率の更なる改善を図る無線技術の確立が重要となる。

本論文は、上記の背景の下、陸上移動通信における広帯域信号のフェージング変動に関する理論解析法、マルチパスフェージング伝搬路のダイバーシチ合成に関する理論解析法、ならびに、CDMA移動通信基地局用スマートアンテナの技術に関する研究成果をとりまとめた。

まず、広帯域信号のフェージング変動特性については、ダイバーシチ合成の理論解析法を応用し、レイリーフェージング環境における広帯域信号の瞬時レベル変動の確率分布の解析手法を提案した。同手法を用いて、様々な遅延プロファイルに対する瞬時レベル変動特性を調べ、各モデルに対するフェージングの深さを比較した。

次に、ダイバーシチ合成の理論解析については、角度広がりや遅延広がりのあるレイリーフェージング環境における空間領域、時間領域および2D-RAKE合成後の信号品質の理論検討を行い、マルチパス波の角度広がりやビーム幅の関係を明らかにした。また、同解析法を改良し、仰角ライズフェージング伝搬路にも適用可能な理論解析法を提案した。同解析法により、アンテナブランチ数2および4の直線アレーによるスペースダイバーシチを中心とする解析を行った。なお、上記解析手法は固有値解析をベースとし、適用可能な範囲は固有値の値が互いに異なる場合に限定されていた。本論文では、値の等しい固有値が複数組存在する場合の算出法を導出した。

そして、CDMA基地局のアレーアンテナ信号処理技術については、アレーアンテナの素子間隔を半波長よりも広げて、狭いビームのグレーティングローブで空間を張る方式を提案し、上り回線の同時通信ユーザ数（システム容量）特性を計算機シミュレーションにより評価した。次に、IMT-2000基地局テストベッドにアレーアンテナ信号処理機能を実装し、上り回線のビーム制御特性をフィールド実験により評価した。所望移動局の方向にビームが自動追尾され移動局の送信電力が低減されることを確認し、上り回線のシステム容量増加に寄与できることを示した。

清水 洋（高橋教授）

A Study on Bandwidth Guaranteed Networks for Multimedia Services Integration (マルチメディアサービス統合のための帯域保証ネットワークの研究)

平成20年3月24日

本論文は、デジタルPBXの複合端末の研究開発から始まり分散制御環境でオンデマンドベースでの帯域保証仮想パケットネットワークのアーキテクチャ研究まで、高速デジタル化・パケット統合化に対応した帯域保証ネットワークに関するものである。

前半ではサービス統合LANにつき研究した。PBX機能（2B+D：ISDN）とLAN機能（Pチャンネル：Ethernet）とを多重したIVDLAN（音声・データ統合LAN）は、ハブノードにおいてコネクションレス型のパケットスイッチを行うというアーキテクチャを有し、802.9委員会においてIEEE標準として採択された。端末間においてリンク・バイ・リンクでのバッファ間バックプレッシャ型フロー制御をMAC層に規定し、パケット粉失の無い通信を提供している。バックボーンネットワークとなる高速パケットリングネットワークの研究においては、分散環境で多元トラヒックに対する帯域予約と帯域保証とを実現するアーキテクチャを提案・検証している。加入者線として光ファイバを用いたI²VD（Integrated Image, Video & Data）LANは、IVDLANにImage/Video用のHPチャンネルを加えたものである。HPチャンネル通信では、加入者線はもとよりバックボーンリングネットワークにおいても帯域保証とバックプレッシャ機能により高いパケット通信品質が保証される。高速通信プロトコルにおいては、Pチャンネルを用いた制御通信により中継資源（帯域及びバッファ）の予約を行い、画像データ転送用のHPチャンネルでは画像フレームメモリ内で画素単位の選択的再送制御を実施している。

後半では広域パケットネットワークにつき研究を行った。H4（150Mbps）チャンネルを単位とするクロスコネクトネットワークにおいては、同期転送モード（STM）と非同期転送モード（ATM）の両方の構造を併せ持つマルチフレーム構造のセル転送方式を提案・検証を行った。本転送制御は、H4クロスコネクト機能の上位層でのセル単位のAdd/Drop機能として規定される。CBRサービスに対し、所要バッファサイズを削減でき、ジッタ変動量も小さく抑えることができる。次に、メトロリングネットワーク向けに標準化されたIEEE802.17 RPR（Resilient Packet Ring）プロトコルの広域Ethernetへの適用を研究した。VLANタグをラベル情報として用い二重論理リングを構成し、障害時におけるVLANタグのビット制御により、Spatial Reuse機能、Wrapping機能、Steering機能が提供される。これにより、物理的にリングネットワークの形状を有していないネットワークにおいてもVLAN制御により高信頼化・高能率利用をはかることができる。更に、MPLSに代表される仮想パケットネットワークの分散制御アルゴリズムの研究を行った。制御プレーン上に固定帯域（数十Mbps程度）のGranularity Pathを規定し、帯域予約と経路制御とを行う。転送プレーン上の仮想パスは経路が同じGranularity Pathの集合体としてマッピングされ最適経路が設定される。本制御により、Granularity Pathを粒度として帯域幅の動的制御及び経路制御による負荷分散の最適化が統一的に実現される。

サービス統合ネットワーク及び帯域保証技術は、次世代ネットワークにおいても、依然重要課題である。付加的有料サービスとして「帯域保証」は通信事業者にとって重要なテーマであり、研究開発する側にとっても常にエキサイティングな研究テーマである。有線ネットワークで培われたパケット対応の帯域制御は、今後、無線ネットワーク向けに水平展開されるであろう。パス制御に関しても、無線／有線アクセスが結合されたオーバーレイ的な仮想パスがその対象となろう。

松 吉 俊（黒橋教授）

「Hierarchically Organized Dictionary of Japanese Functional Expressions: Design, Compilation and Application」

（階層構造を持つ日本語機能表現辞書の設計、編纂および応用）

平成20年3月24日授与

日本語には、「にたいして」や「なければならない」に代表されるような、複数の語からなっているが、全体として1つの機能語（助詞や助動詞）のように働く複合辞が多く存在する。われわれは、機能語と複合辞を合わせて機能表現と呼ぶ。本論文では、（1）自然言語処理のための日本語機能表現辞書の設計について提案し、（2）実際に行なった辞書の編纂過程について報告している。加えて、（3）この辞書を機能表現の言い換えに応用する方法を述べ、これに基づいて実装した言い換えシステムの評価実験について報告している。

- （1）日本語の機能表現が持つ主な特徴の1つは、個々の機能表現に対して、多くの異形が存在することである。例えば、「なければならない」に対して、「なけりゃならない」、「なくてはならない」、「なければならず」、「なければなりません」、「なければならぬ」、「ねばならない」など、84表現もの異形が存在する。計算機が利用することを想定した辞書を編纂する場合、これらの異形を適切に扱う必要がある。本研究では、機能表現の異形を作り出す言語現象を分類し、9つの階層からなる形態階層構造（図1）を構築した。さらに、自然言語処理での応用を考慮し、既存の意味分類体系を再整理することにより、言い換え可能性に基づく意味階層構造を構築した。機能表現辞書を設計するにあたり、その見出し体系として形態階層構造を採用し、個々のエントリーの意味属性として意味階層構造の意味クラスを割り当てた。
- （2）本研究では、定評のある2冊の文献に収録されている機能表現を対象として、上記の設計に基づく日本語機能表現辞書の編纂を行なった。現在、この辞書には、341の見出し語と16,801の異形が収録されており、自然言語処理の分野における既存の機能表現リストと比較した結果、各々の見出し語に対して、ほぼすべての異形が網羅されていることが確かめられた。
- （3）編纂した辞書の1つの応用として、文体と難易度を制御しつつ、日本語機能表現を言い換えるシステム（図2）を実装した。1つの文章においては、原則として、一貫して1つの文体を使い続けなければならないため、機能表現を言い換える際には、文体を制御する必要がある。また、文章読解支援などの応用においては、難易度の制御は必須である。実装した言い換えシステムは、オープンテストにおいて、入力文節の79%（496/628）に対して、適切な言い換え表現を生成することができた。

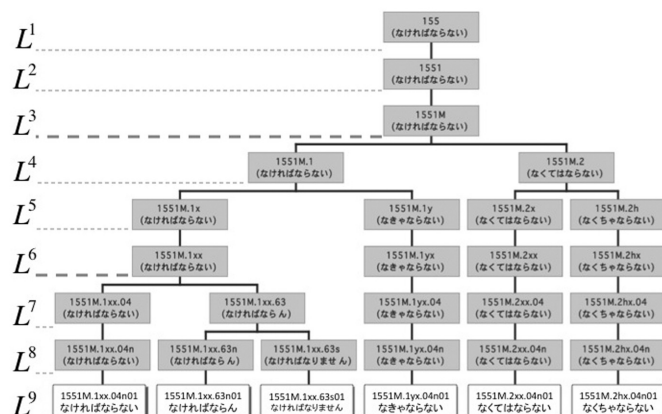


図1. 機能表現の形態階層構造

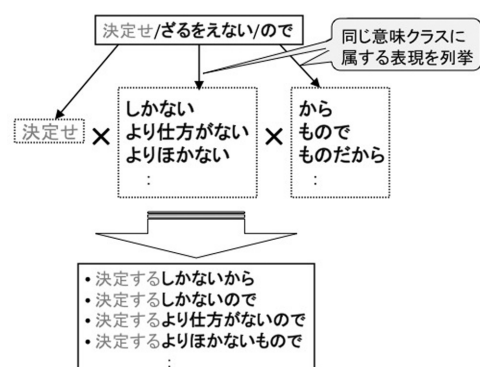


図2. 機能表現の言い換え

嶋 吉 隆 夫（松田教授）

「細胞モデルの構築支援および生体機能シミュレーションの開発環境に関する研究」

平成20年3月24日授与

生体機能のメカニズムを解明することは、生命科学の発展のみならず医療や創薬への応用にとっても重要であり、その目的で、細胞・生体機能モデルの開発およびモデルを用いたシミュレーション研究が行われている。一方、生体機能に関する詳細な解析を行うためにはモデルの精密化かつ高機能化が必要不可欠であるが、そのようなモデルおよびシミュレータは複雑にならざるを得ないため、その開発と利用が困難になるという問題点がある。本研究では、細胞および生体機能のモデルの開発やシミュレーションを容易に行うことを目指して、複雑な細胞モデルの構築を支援する手法を提案・実装し、また生体機能シミュレーションの開発環境を設計・実装した。

細胞モデルは一般的に複数の機能モデルを統合して構築される。精密な細胞モデルは複雑なモデル構造を持つが、その編集には多くの煩雑な作業が必要とされ編集誤りを起こしやすいという問題がある。次に、細胞生理学実験のシミュレーションは、実験条件や手順からなる実験プロトコルの細胞モデルに対する適用をシミュレーションすることであり、計算を実行するためには、細胞モデルと実験プロトコルの組み合わせに対応する微分代数方程式を作成し、与えられた計算条件に基づいて計算手順を解析する必要がある。細胞モデルが複雑化すると、この作業は非常に困難になる。本研究では、まず、細胞モデルの構造のための記述形式と、細胞モデルに関する細胞モデルオントロジーを提案し、それらを用いて細胞モデル構造の編集作業を支援する手法を提案した。また、オントロジーを用いることで特定モデルに依存せず汎用的に実験プロトコルが記述可能な記述言語PEPMLを提案し、実験プロトコルをモデルに対する境界条件として解釈する細胞生理学実験シミュレーション手法を提案した。さらに、グラフ理論に基づいた連立方程式の構造解析手法の応用により、モデルに対する計算可能な計算条件の設定を支援し、与えられた計算条件に応じて方程式を解析・最適化する手法を提案した。これらの提案手法により、細胞モデルの構築およびシミュレーション実行が簡便化されることを、実際の細胞モデルを用いた実験により確認している。

一方、詳細な生体機能の解析のためには複数の現象を連成計算するシミュレーションが必要であるが、それには大規模で複雑なソフトウェアが必要とされるため、従来はその実現のために多大な開発コストを要した。そこで本研究では、複数現象の連成解析を扱う生体機能シミュレータシステムの簡便な構築を可能にするシステム構築プラットフォームとして、DynaBioSプラットフォームを開発した。DynaBioSプラットフォームは、個別の現象を扱うサブシミュレータを独立したソフトウェアコンポーネントとして実装し、現象間の相互作用をコンポーネント間のイベントメッセージ交換として扱うことで、生体機能を扱うシミュレーションシステムを実現する。多数のシミュレータシステムを実装することにより、開発効率向上に対する有効性を確認した。また、実験により計算効率に対するシステムオーバヘッドが十分に小さいものであることを確認している。

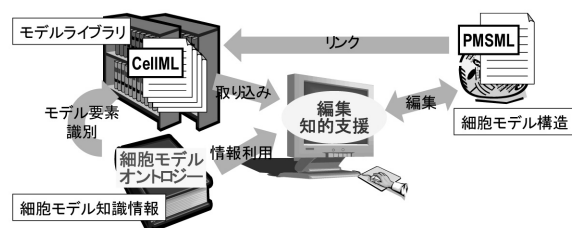


図1 記述言語とオントロジーを用いた細胞モデル構築支援手法

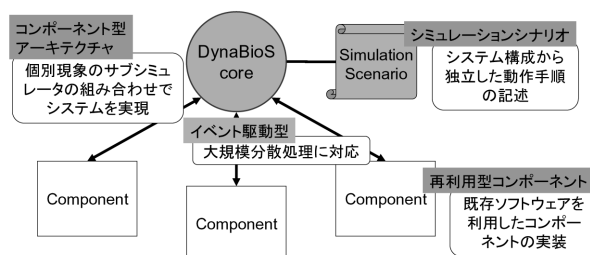


図2 生体機能シミュレータプラットフォーム DynaBioS

篠原 尋 史 (小野寺教授)

「ばらつきを考慮した微細化SRAMのメモリセル最適化と駆動法に関する研究」

平成20年3月24日授与

SRAM (Static Random Access Memory) は、LSIの一製品分野であるとともに、近年はMPUやSoCの内蔵メモリとしての重要性が高まっている。各種プロセッサLSIでは、チップに搭載されるトランジスタの多くはSRAMで占められている。またSRAMを題材にプロセス開発や歩留まり改善がなされていて、技術の牽引役でもある。一方、最小線幅90nm以下に微細化が進んだナノメートル世代では、トランジスタの特性ばらつきがLSIの性能阻害要因となっていて、ばらつき考慮設計が求められている。とりわけSRAMでは、メモリセルを構成するトランジスタの特性にばらつきがあると読み出し安定性や書き込みマージンといった基本特性が劣化するため、ランダムばらつき^{注)}が微細化による面積縮小の重大な障害となっている。本研究では、この課題に対して、メモリセルの最適化とメモリセル駆動回路改良の二つ方面から対策を検討した。

メモリセルの最適化では、まず設計の見通しを良くするため、CMOSメモリセルの安定性指標SNM (Static Noise Margin) の解析式を導出した。図1に示すとおり、メモリセルを構成するインバータ (HC_L , HC_R) の伝達特性を特徴点 (P_1 - P_7) を用いて表現することにより、伝達特性の内接正方形で定義されるSNMを解析的に求めることに成功した。次に、ワーストベクトル法と呼ぶばらつきによるビット不良率の高精度計算方法を開発した。更に、それらを用いてメモリセルの最適化指針を明らかにし、製造性にも配慮したストレート形メモリセルを提案した。

メモリセル駆動方式では、まず $2\ \mu\text{m} \sim 1\ \mu\text{m}$ 設計基準のSRAMにおける高性能化と高機能化のための駆動方式の改良を明らかにし、これをばらつき対策に応用した。読み出し安定性に対しては、図2に示した読み出しアシスト回路を提案し、ワード線 (WL) 電圧を低下させることにより、SNMを増大した。また、同図に示した書き込みアシスト回路を提案し、寄生容量の電荷再分配でメモリセル電圧 (V_{DDM}) を低下させることにより、書き込みマージンを向上させた。

最後にこれらの提案を65nmCMOSの8MビットSRAMに適用した。この設計基準では面積が最小水準にある $0.494\ \mu\text{m}^2$ のメモリセルで、予想通りのばらつき影響抑制と歩留まり改善をSiで確認した。

以上、本研究では、ナノメートル世代の微細化SRAMにおけるばらつきの問題に対し、メモリセルの最適化とメモリセル駆動回路改良の方面から対策を提案した。そしてSRAMを試作評価し、これらの有効性ならびに微細化による面積縮小のトレンドの維持が可能であることを実証した。

注) トランジスタ特性調整用に注入される不純物の揺らぎ (Random Dopant Fluctuation) を主原因とする閾値電圧 (V_{th}) のランダムなばらつき。その分散はゲート面積縮小に反比例して増大することが知られている。

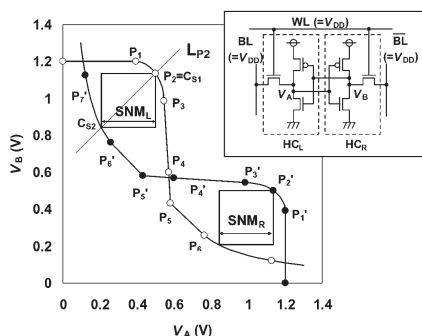


図1 SRAMメモリセルと安定性指標SNM

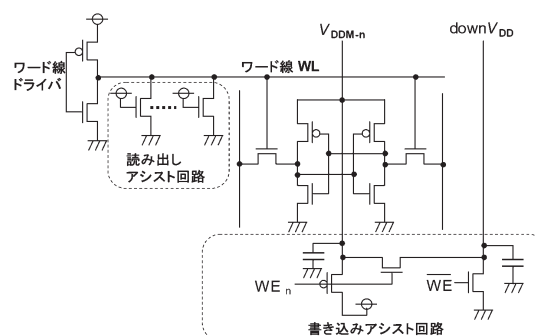


図2 メモリセル駆動回路

田 中 晶（吉田教授）

「Study on Design Issues towards Highly Efficient Telecommunication Networks」
（高能率通信ネットワークに向けた設計課題に関する研究）

平成20年3月24日授与

ネットワークは、多地点間通信・仮想専用網・フリーダイヤル等のサービスの導入、インターネット、携帯電話等の無線技術の発展と共に、人間活動や社会とより密接に関わるようになった。そこで、高度な要求と弛まなく変化する環境に 대응可能な高能率通信ネットワーク実現のための4つの技術課題を見出し、理論的研究のみならず全国規模ネットワーク導入を通じた実用上の評価も含めて統合的に解決した。

通信サービスにおいて、柔軟な会話形態をネットワーク上で実現するための有効な手段は、電話・テレビ会議等の多地点間通信である。しかし、対地数に応じた多量のネットワーク資源（帯域や複製・加算機能）が必要になる。そこで、実際のネットワークの構成と接続遅延等の条件に基づき、分岐装置の配置や通信参加者の増減・移動にも対応可能な、資源の使用量を最小化する最適な経路選択法¹⁾を導いた。

ネットワーク制御については、物理的に情報伝達を行う層と通信サービス制御を行う高機能層で構成する、インテリジェントネットワークの研究・開発・導入に携わった。高機能層で、接続・課金・統計・ユーザ管理等のサービス機能を論理化して保持し、共通／固有機能を組み合わせ、さらに処理手順を生成・実行することにより、ユーザ等によるリアルタイムのサービス仕様設定や状況照会が可能になった²⁾。また、国際標準に関する提案、ICカード技術等のユーザの側面からのネットワーク設計法を示した。

通信装置については、主たる情報生成源であるプロセッサの性能向上に伴う通信量の急増、マルチメディア／多対地／分散化に対応するため、並列処理等の効率化技術によりプロセッサ相互間の情報共有を基にした分散共有メモリをネットワークに適用し、データ規模に依存しない経済的な高速通信システムを実現した³⁾。実測により世界水準の効果を示し、全国規模ネットワークに適用可能な拡張性と優先度制御を用いたセンサ網への適用効果とを実証し、さらに、リアルタイム遠隔バックアップ方式へ応用した。

無線技術は高い自在性をもたらす一方、携帯・無線LANの急速な普及に伴い、基地局（アクセスポイント）が多数必要となる。そこでエネルギーと費用の変換方法を明らかにした上で、通信品質を維持しつつ基地局の設置密度即ち費用がマルチホップによりどの程度縮小可能かを導く計算方法を定式化し、解法を示した⁴⁾。具体的事例に対し数値計算とシミュレーションにより効果を裏付け、国際規格に

準じたより適切な基地局配置を得る優先度制御、マルチホップと多地点間通信の相乗効果を得る提案も示した。

このように、ネットワーク資源の利用、通信サービス制御・管理／開発・導入、速度・帯域・品質、固定網及びマルチホップ無線技術、の多角的な効率化・最適化によって、生活空間における日常の対話形態を、遠隔の全ての人や装置間の通信において実現する高能率ネットワークの設計技術を明らかにした。

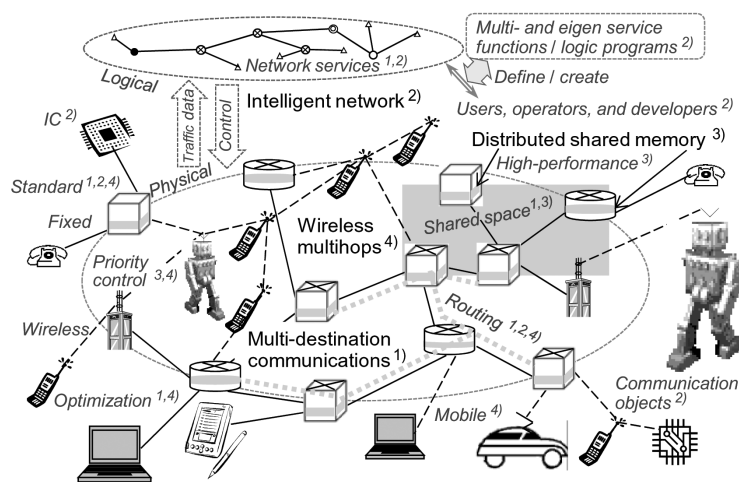


Fig. Towards highly efficient telecommunication networks

田 原 志 浩（佐藤教授）

「衛星通信およびレーダ用アレーアンテナ給電回路の低損失化に関する研究」

平成20年3月24日授与

近年、衛星通信の大容量化やレーダの高性能化を実現するアンテナとして、素子アンテナと呼ばれる小さなアンテナを複数個並べて構成されるアレーアンテナの適用が広がっている。システム消費電力低減の観点からアレーアンテナに対しては高効率化が強く求められており、アレーアンテナを構成する各素子アンテナへ高周波信号を供給する給電回路（図1）の低損失化が、技術的に大きな課題の一つである。本研究は、アレーアンテナ給電回路を構成するビーム形成回路（電力分配）や増幅器出力合成回路（電力合成）の低損失化を目的として行ったものである。

まず、抵抗膜整合回路を設けた分岐形の電力分配器を提案した。基板上の平面回路で構成された電力分配器においてアイソレーション抵抗を抵抗膜で形成する場合、抵抗膜の寄生リアクタンスによって損失が増加するという問題がある。そこで、抵抗膜を損失性の伝送線路として表すことにより抵抗膜が有する寄生リアクタンスを明らかにし、この寄生リアクタンスを打ち消すような整合回路の設計式を導出した。また、Ku帯における試作評価結果からその有効性を確認した。

次に、広帯域な特性を有するテーパ形電力分配器に関して、テーパ形線路間に設ける抵抗膜をストリップ状にすることにより、抵抗膜における損失を低減する電力分配器を提案した。非対称な不等電力分配の場合および3分配の場合について、等価回路とそれを用いた設計方法を示した。C帯からKu帯にかけての広帯域な帯域において設計した例を示し、試作評価結果からその有効性を示した。

また、サスペンデッド線路方向性結合器を用いた合成回路を提案した。低損失なサスペンデッド線路を用いて構成した結合線路の各端部に並列容量を装荷し、結合線路の伝送モード間の位相速度差を小さくすることにより結合器の方向性を改善し、小形・低損失な電力合成回路を実現した。S帯における試作評価結果から低損失な特性が得られることを確認した。

最後に、任意の高調波を抑圧できる集中定数90度ハイブリッド結合器を提案した。高調波帯域において共振する共振回路を付加することで、基本波に対しては電力合成の特性を有しながら所望の高調波を抑圧することを可能とした。本ハイブリッド結合器は、大型大気レーダの送受信モジュールに適用され、高調波フィルタ回路が不要となったことで、モジュールの低消費電力化に大きく貢献している。

以上、本研究ではアレーアンテナ給電回路を構成するマイクロ波電力分配器や方向性結合器に関して、損失低減のための新たな回路構成を提案し、試作評価によりその有効性を示した。

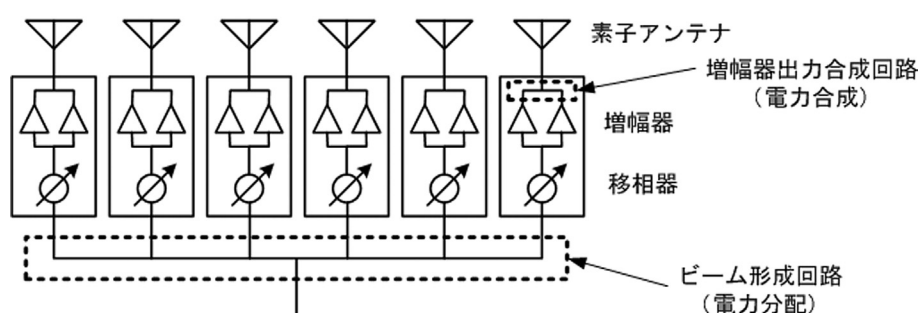


図1 アクティブフェーズドアレーアンテナの構成例

八 木 将 計 (和田教授)

Analysis of Nonlinear Oscillations Using Computer Algebra

(計算機代数を用いた非線形振動の解析)

平成20年 5 月 23 日 授与

1 研究内容

本研究では、従来、数値シミュレーションで解析されてきた非線形振動を、計算機代数を用いることで代数的に解析する方法を提案した。

非線形振動現象の多くは、高調波や分数調波の発生、同期現象、非周期振動の発生などの非線形現象を伴う。それら非線形現象の定性的解析のため、摂動法やハーモニックバランス (HB) 法といった近似解法が開発され、コンピュータによる数値シミュレーションの発達により、急速に発展してきた。特に、HB法は、非線形振動を低周波成分のみで近似することで、周波数領域におけるシミュレーションを可能とするため、大域的パラメータ空間におけるシステムパラメータに対する振動の様子である分岐図の解析に応用される。しかし、数値シミュレーションは、パラメータを固定してシステム方程式を解く必要があるため、HB法における分岐図のような代数曲線が、数値の集合で表現されることになり、パラメータと振動の代数関係の明確化を困難にする。

一方、この数値シミュレーションの問題点を解決する方法として、計算機代数という分野が近年発達してきている。この計算機代数は、パラメータや変数をシンボリックに含む演算を可能とするため、上述のような数値の集合を文字として表現できる。この計算機代数の分野の中でも、グレブナ基底をはじめとするイデアル理論が注目されている。イデアルとは、多項式方程式の変形で得られる等価な方程式の無限集合であり、多項式方程式の一般化であるといえる。このイデアルの標準基底であるグレブナ基底は、変数消去、多項式方程式の三角化、イデアルの因数分解に対応するイデアル分解を可能にし、その計算アルゴリズムは、Mathematica, Maple, Risa/Asir, Singular, Macaulay2 などの計算機代数システムに組み込まれている。このように、数値シミュレーションにはない特徴をもつグレブナ基底であるが、その計算アルゴリズムは、非常に膨大なメモリを要求するため、応用研究が制限される問題がある。

本研究では、グレブナ基底をはじめとするイデアル理論を非線形振動現象の解析に応用することで、数値シミュレーションでは明確化困難な大域的パラメータ空間における代数的構造を明らかにした。具体的には、HB法における分岐図の分解方法を提案した。この分岐図の分解は、非線形振動のモード分解に対応しており、分岐点を分解された分岐図の交点で表現するという代数的構造を明確にする。本研究では、システムがもつ対称性に基づくイデアル商を用いる効率的な分岐図の分解方法を示した。

また、グレブナ基底の変数消去に基づく変数変換を用いることで、HB法における分岐図を縮約し、所望の物理量を抽出する方法を提案した。さらに、従来は数値の集合で表現するしかなかった、HB法における精度保証付き分岐図を代数的に表現する方法を提案した。

2 感想

本研究は、上述のように、従来の数値シミュレーションと異なる観点で、イデアル理論を非線形振動解析の分野に応用したものである。そのため、両分野を把握する必要があり、その点では苦労したが、新しい分野の開拓という所に非常にやりがいがあった。今後のコンピュータ技術と、計算機代数の発展により、グレブナ基底を含むイデアル理論に基づく本研究が、非線形振動現象の解析の分野において、重要になることを期待する。

Mohamed Lmouchter (鈴木教授)

「Epitaxial Growth and Characterization for Thin Films of Colossal Magnetoresistive Layered Manganates」

(巨大磁気抵抗層状マンガノ酸化物薄膜のエピタキシャル成長とその評価に関する研究)

平成20年5月23日授与

高密度磁気記録や不揮発性強磁性ランダムアクセスメモリに用いられるトンネル磁気抵抗素子の高性能化には偏極スピントンネル効果の界面に関する理解が重要である。その意味で結晶構造自身がトンネル接合（固有トンネル接合）となり、かつコヒーレントトンネル効果を示すと考えられるRuddeldsen-Popper系列の強磁性巨大磁気抵抗層状マンガノ酸化物 (La, Sr)₃Mn₂O₇ (LSMO327) は興味深い物質である。本研究はこのLSMO327を対象として、マグネトロンスパッタ法による *c* 軸エピタキシャル薄膜成長を達成しその基礎的性質について明らかにしたものである。本研究の主な成果は以下の通りである。

1. SrTiO₃ (STO) (100) 基板上へ、基板温度が820℃以下では *a* 軸薄膜が成長すること、920℃において *c* 軸エピタキシャル薄膜が成長すること、さらに堆積速度を0.8nm/minとした場合には基板温度が760℃においてもより品質の高いLSMO327の *c* 軸薄膜がエピタキシャル成長することを示し、高周波マグネトロンスパッタ法においてはじめて *c* 軸成長LSMO327エピタキシャル薄膜を達成した。
2. LSMO327エピタキシャル薄膜中に (La, Sr) MnO₃ (LSMO113) と (La,Sr)₂MnO₄ (LSMO214) が intergrowth している場合のX線回折パターンをシミュレーションし (図1上)、intergrowth量に応じて、各回折ピークの位置が正または負の方向にシフトしかつ半値幅が増大することを定量的に明らかにした。実験結果と数値的に比較することにより、エピタキシャル成長したLSMO327薄膜中のintergrowth量を定量的に評価する方法を考案した。
3. 高エネルギーイオン衝撃を抑制する中間プレートを設置した新しいスパッタ法を開発し、より高品質な *c* 軸エピタキシャル成長が可能であることを示した。上記方法により intergrowth を評価したところ、LSMO113が10%以下、LSMO214が10%以下まで低減されることを明らかにした。その薄膜のX線回折図形を図1下に示す。また、得られた *c* 軸成長LSMO327エピタキシャル薄膜を900℃酸素中で熱処理することにより、単結晶の値に近い、キュリー温度115K、飽和磁化3.0 μ_B/Mnの値を得た。また、磁場7Tにおける磁気抵抗比は約60%であった。薄膜表面も平坦でこの方法により高品質の *c* 軸成長LSMO327エピタキシャル薄膜が得られることを明らかにした。

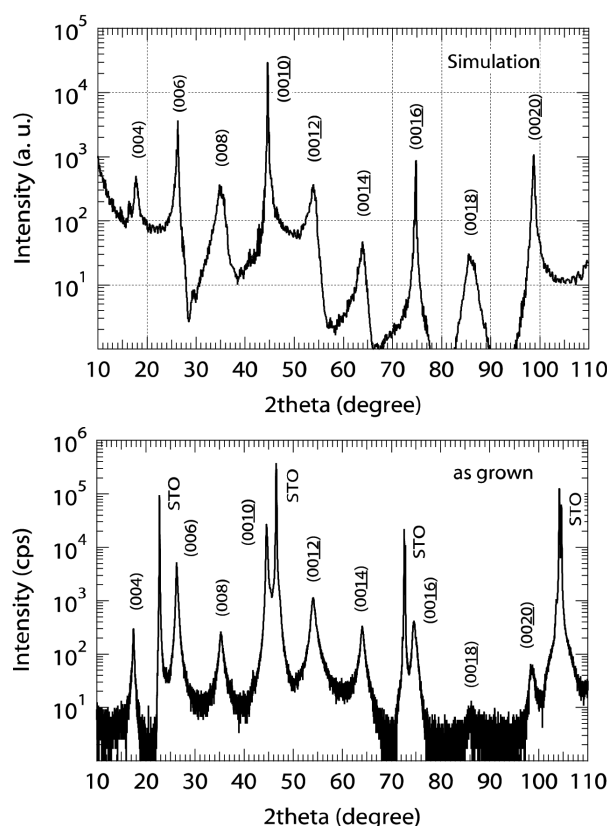


図1 intergrowthを含むLSMO327のX線回折図形。(上) シミュレーション (下) as grown *c* 軸エピタキシャル成長LSMO327薄膜

高野 仁 路 (野田教授)

「超小型・面内フォトニック結晶デバイスに関する研究」

平成20年5月23日授与

2次元フォトニック結晶の極微小な光導波路と光共振器を結合することで構成される面内フォトニック結晶デバイスは、従来の1/100以下のサイズをもつ波長選択フィルタや様々な超小型・光集積デバイスへの応用展開が期待されている。本研究では、その最も基本要素となる共振器を介した異なる導波路間の光伝達に関する詳細な検討を現実的な構造に対してはじめて行い、さらに、この結果を発展させることで超小型の高効率・多波長選択フィルタの実現に至った。本研究で得られた成果は、以下のとおりである。

1. 面内フォトニック結晶デバイスの要素技術として線欠陥導波路と点欠陥共振器に関して検討を行った。特に、共振器を介した結合の実現に必要とされる線欠陥曲げ導波路の透過帯域制御についての詳細な検討を行い、透過帯域を共振器の共振波長に一致させる手法を提案して低損失な光伝搬を実現した。
2. 点欠陥共振器・線欠陥導波路の結合系について検討を進め、高Q値点欠陥共振器を導入することにより共振器からの面外放射損失を抑制し、共振器を介した異なる導波路間の光伝達（面内結合動作）を初めて実現した。また、面内フォトニック結晶デバイスへの光入出力構造について検討を行い、高効率で、再現性の良い光入出力構造を実現した。
3. 面内フォトニック結晶デバイスのWDM通信用波長選択フィルタへの応用を狙い、そのために必須となる高効率・波長多重動作を検討した。異なる周期のフォトニック結晶で構成されたヘテロフォトニック結晶構造を用いることで、光通信帯において、ほぼ100%の効率をもつ4波長動作の超小型・波長選択フィルタを実現した（図1～3）。
4. 面内フォトニック結晶デバイスのさらなる高機能化を目的とし、光増幅や波長変換のための基礎技術として、微小点欠陥共振器によるラマンレーザー発振について検討した。発振条件の理論導出と微小共振器の理論設計を行い、2mWの極低閾パワーでレーザー発振する可能性を示唆する結果を得た。

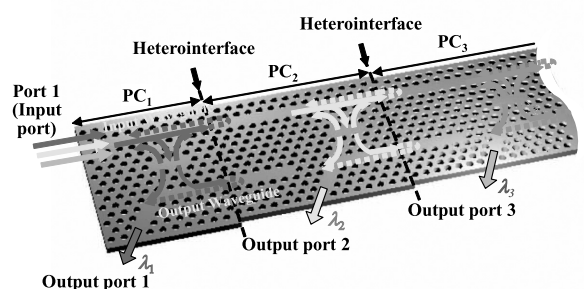


図1. ヘテロフォトニック結晶を用いた超小型・波長選択フィルタの概念図

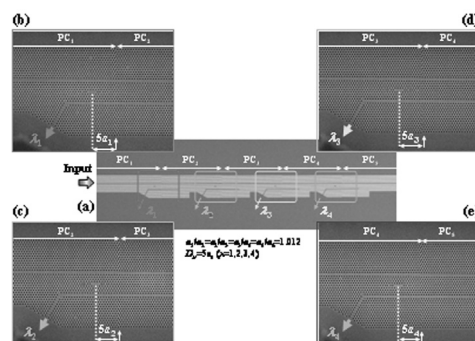


図2. 多波長フィルタ作製試料SEM像

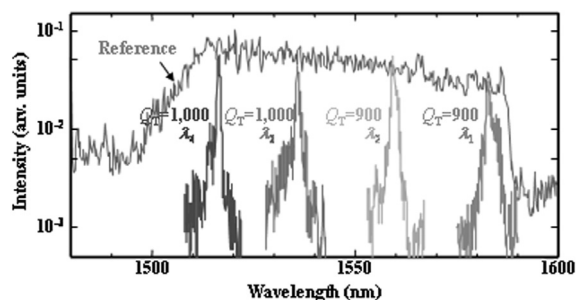


図3. 多波長選択フィルタのドロップスペクトル

颯々野 学（黒橋教授）

「Practical Use of Large Margin Classifiers in Natural Language Processing」 （自然言語処理におけるマージン最大化に基づく分類器の実用的な利用法）

平成20年9月24日授与

コンピュータとネットワークの飛躍的な広がりにより、企業内、家庭内における電子化文書の量は大幅に増えた。これら処理する自然言語処理アプリケーション（機械翻訳、テキストマイニング、検索エンジンなど）の研究開発も活発に行われている。従来、アプリケーションで利用される言語処理の基盤技術（形態素解析や構文解析など）はルールベースで作成されていた。ルールベースのシステムは、規模がそれほど大きくなければ人間に理解しやすい、修正しやすいなどの長所がある。しかし、一定の規模を超えると、保守の困難さが大きくなり、精度の向上も難しくなる短所がある。

90年代以降、システムの出力の正解となる結果を手で用意しておき、それを用いてシステムを訓練する方式の有効性が確かめられた。初期には比較的シンプルな確率モデルが中心であったが、近年では機械学習を用いる手法が中心となっている。中でも最も有望なのは、マージン最大化に基づく分類器（large margin classifiers）を用いるものである。ただ、これを用いても、計算コストが高いことや正解データを作るコストが大きいことなどの課題は残っている。企業内での研究開発や実用的なアプリケーションへの適用を考えると、これら課題の解決は非常に重要である。本研究では上記課題の解決を目指す。

本論文は、自然言語処理におけるマージン最大化に基づく分類器の実用的な利用法について、特に、日本語の解析の効率よい手法と、効率的な正解事例の作成法に関する研究をまとめたもので、得られた主要な成果は以下のとおりである。

1. 日本語の係り受け解析（構文解析）をスタックを用いて後戻りなく決定的に行なうアルゴリズムを提案し、その時間計算量の上限が理論的に線形時間で抑えられることを示し、それを実験でも確かめた（図1）。さらに、このアルゴリズムと改良された素性、サポートベクタマシン（SVM）を組み合わせることで、京大コーパス Version 2 に対して最も高い精度が得られることを示した。このアルゴリズムを発展させ、文節認識と係り受け解析を同時行えるアルゴリズムも提案した。また、文法情報や係り受け情報が部分的にしか与えられていない場合でも、訓練可能であることを示した。

2. SVMの能動学習を初めて日本語の単語分割に適用し、能動学習の効率改善手法を提案した。大規模なクラスタリングを避けつつ、二つのラベルなし事例のプールを用い、事例をサンプリングするプールの大きさを徐々に大きくする方法で、一定の精度を得るのに必要な正解事例の数を通常の受動学習、従来の能動学習に比較して、大幅に削減できることを示した。

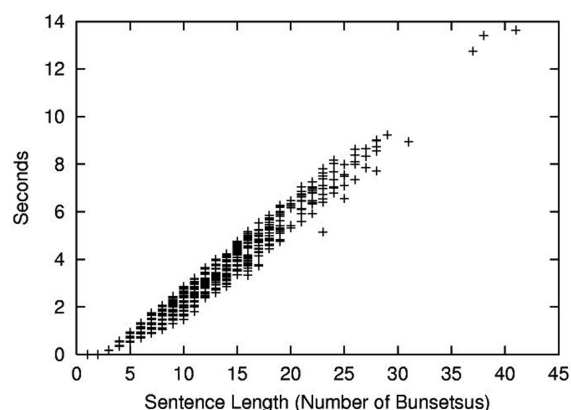


図1. 文の長さと解析時間の関係

3. 文書分類において、ある文書に対して、少量の単語を追加・削除しても、その文書が属するカテゴリは変化しないとの仮定を置き、仮想的な事例を生成して、正解事例のセットに追加することで精度の向上を図る方法を提案した。この仮想事例の生成とSVMとを組み合わせる方法を英語のニュース記事の分類に適用し、正解事例が少ない場合に、大きく精度の改善ができることを示した。

今後は、これらの知見をもとに、精度が高く、よりいっそう実用的な自然言語処理システムの研究開発に取り組んでいきたい。

張 奇（下田准教授）

「Study on an Integrated Analysis and Evaluation Methodology of Energy Systems for Sustainable Development」

（持続的発展のためのエネルギーシステムの統合分析・評価手法に関する研究）

平成20年9月24日授与

本論文は、エネルギー政策から発電システムまで様々なレベルのエネルギーシステムを持続的発展の観点から分析・評価するための統合的方法論について研究開発を行い、その有効性を検証することを目的としている。

エネルギーシステムの持続的発展性を評価する際には、そのシステムが社会、経済、環境に与える影響について総合的に分析・評価する必要がある。本論文では、まず、評価の対象となるエネルギーシステムとその評価目的からEISD（Energy Indicator for Sustainable Development）と呼ばれる指標群を導出し、エネルギーや物質の流れを表現するMFM、地理的情報データベースであるGIS、指標間の定性的な因果関係を表現するDSR、主観的な意思決定を支援するAHP、エネルギー品質も含めて統合的にエネルギーシステムを分析するEXCEM等の各種のモデルから、前述のEISDを導出するのに適したモデルを選択して、対象とするエネルギーシステムを分析・評価する方法論IAEMSD（Integrated Analysis and Evaluation Methodology for Sustainable Development）を提案している。そして、この方法を①中国のエネルギーシステムの定性的分析・評価とエネルギー政策の提言、②1次エネルギーの価格構造と中国原子力政策の定量的分析・評価、③高温ガス炉を対象とした熱的・経済的観点からの分析・最適化、の3つの事例への適用を通じてIAEMSDの有効性を検証している。

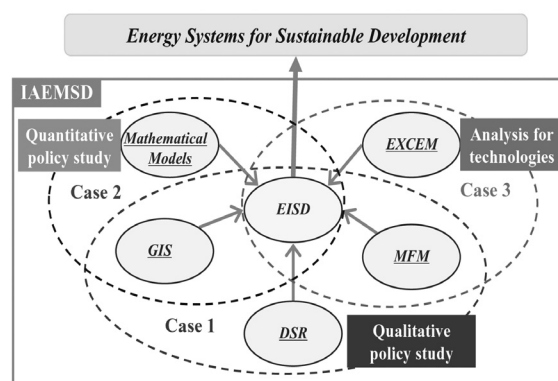


図1 提案したIAEMSDと三つの応用例

①では、提案したIAEMSDを適用し、2000年と2004年の中国におけるエネルギーシステムを多面的に評価した。まず、GISとMFMを用いて社会・経済・環境影響の指標群を導出し、これに基づいてエネルギーシステムの状況と動向をDSRを用いて定性的に分析するとともに将来のエネルギー政策を導出した。②では、1次エネルギーとして天然ガスを取り上げ、世界の天然ガスの価格構造を定量的に分析するためGISを用いてEISDを導出した。これを元にエネルギー高価格時代には原子力エネルギーが有望であることを示し、中国に新規導入する炉型について、安全性、持続可能性、技術、インフラ、信頼性の観点からAHPを用いて評価した。その結果、今後20年は新型加圧水型軽水炉（APWR）が有望であるが、2030年以降は持続的発展の観点からは高速増殖炉も有望であることを示した。③では、電気と水素を製造する高温ガス炉コジェネレーションシステムについて、MFMとEXCEMを用いて熱効率と経済性の観点から分析した。その結果、高温ガス炉システムは他の発電・水素製造システムと比較して効率が良く、経済的にも十分競合できることを示した。

以上、本論文ではエネルギーシステムの持続可能性を多角的に分析・評価する方法論IAEMSDの開発し、異なる3事例の分析・評価からその有効性を示した。

二 谷 辰 平 (近藤教授)

「Multiscale Analysis of Impurity Transport in Drift Wave Turbulence」

(ドリフト波乱流における不純物輸送のマルチスケール解析)

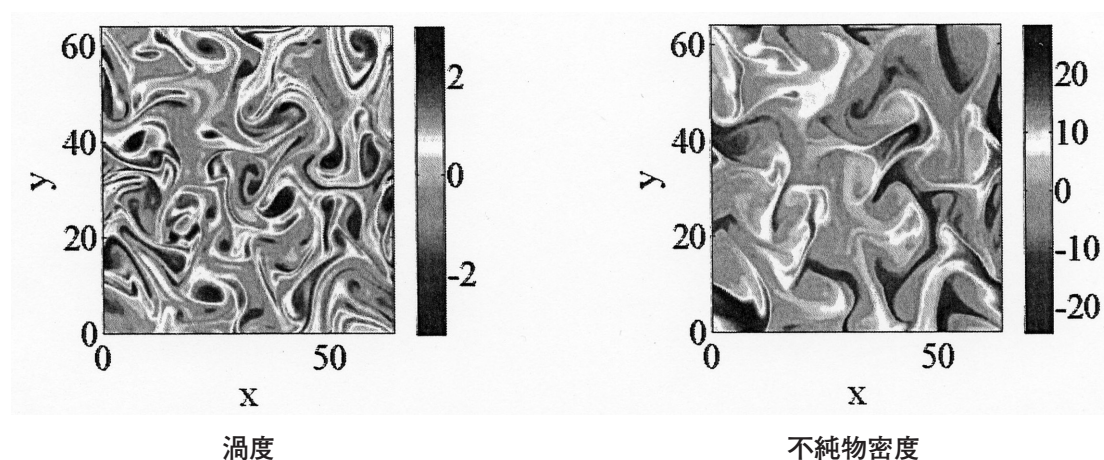
平成20年9月24日授与

核融合プラズマの閉じ込め性能を支配するプラズマ周辺部の不純物輸送のダイナミクスを理解することを目的に、従来の新古典理論あるいは現象論的な拡散方程式に基づく解析から、プラズマ中に異常輸送を引き起こす乱流場の影響を取り入れた解析に拡張するとともに、得られたシミュレーションデータに対して構造関数解析や特異値分解と呼ばれる高次の時空間構造を表現することが可能な統計解析法を適用することにより、不純物の輸送機構に対して新たな知見を見出した。

1) 乱流輸送を駆動する場を表すHasegawa-Wakatani方程式とその場をパッシブスカラーとして捉えた下での不純物輸送の方程式を自己無撞着に結合したシミュレーションを行った。その結果、不純物密度の渦構造はプラズマ乱流の渦構造と強い相関を持つことを定量的に示すとともに、乱流場とその影響を受けた不純物輸送はマルチフラクタル性を持つことを明らかにした。これは不純物輸送が非拡散的な間欠現象によって支配されることを意味し、周辺部の不純物の挙動が乱流場の特性を強く反映することを示している。図に渦度と不純物密度の等高線図を示す。

2) シミュレーションで得られた不純物密度と渦度の構造関数スケール指数を詳細に検討した結果、渦フィラメントが存在する場での構造関数スケール指数を記述するShe-Levequeモデルとよく一致することが分かった。これは、不純物が渦フィラメントに沿って移流するシミュレーションと一致する結果であり、乱流場の渦度と不純物輸送の間に強い相関があることを示している。これは不純物輸送の動力学に対して新しい統計力学的知見を与えるものである。

3) これまでの不純物輸送の解析では時間構造と空間構造を独立に扱っていたが、本研究では、不純物輸送の数値データを空間と時間の双方の固有モードを用いて同時に分解する特異値分解法を適用し、空間における「干渉性構造」と時間における「間欠性構造」の両者を同時に抽出することに成功した。その結果、大きなスケールの渦構造は時間に対して緩和的な動きを示す一方、小さなスケールの渦構造は間欠性を示すこと、渦のサイズが相関時間の平方根に依存することなどを明らかにした。



藤 野 秀 則（下田准教授）

「情報通信技術を活用したスキルとモラル向上のための教育・訓練方法に関する研究」 平成20年11月25日授与

本論文は、エネルギープラント等の大規模工学システムの保守や機器製造を担う工務作業員に対し、情報通信技術を活用して、そのスキルとモラル（仕事に対する意欲・満足度）を向上させる教育・訓練の方法について研究開発を行い、その有効性の検証結果をまとめたものである。

具体的には、研究の背景として、工務作業は、インフラや製造現場を支えるために必要不可欠な作業であるが、第3次産業が主要産業となった今日においては、作業員の高齢化や若手の入職者の減少、入職者の作業意欲がそもそも低いといった問題がある。このような中で、社会のニーズに応えていくためには、工務作業員に対する教育・訓練として、作業知識や技術等のスキル向上を効果的、効率的に図ること、および、作業そのものへの動機付けや作業意欲等のモラルの向上を図ること、の両面が必要である。そこで、本研究では、（A）最新の情報通信技術を活用してスキル向上のためのOJTを人の指導員に代わって実施できるシステムを構築・導入すること、および、（B）情報通信技術を活用して、モラル向上につながるようなコミュニケーション場の構築を支援することを提案した。そして、それぞれの提案内容を基にしたケーススタディとして、（A）の提案に対して（1）プリント基板面実装作業の作業技術の訓練システムの開発というケーススタディを実施するとともに、（B）の提案に対して（2）単純作業従事時の作業意欲向上、および、（3）過去の不具合事例活用のためのデータベース作成促進、という2つケーススタディを実施した。

（1）「プリント基板面実装作業の作業技術の訓練システム」については、作業知識やスキルの向上を目指した教育・訓練方法のケーススタディとしてプリント基板の面実装作業を取り上げ、情報通信技術のうち主に画像処理技術を用いて、その教育・訓練を効果的に実施する方法を提案した。具体的には、プリント基板面実装作業における新人作業員に対するOJTについて、熟練作業員に代わり情報通信技術を適用して、液晶モニタとレーザー光による作業のデモンストレーション表示、画像処理による部品箱からの電子部品の取り出し認識、プリント基板への部品の取り付け認識、誤り作業の指摘を実現し、これまでe-Learning等のOFF-JTでしか利用されていなかった情報通信技術がOJTにも活用できることを示した。また、この研究開発の知見から、一般的な工務作業のOJTに情報通信技術を活用する際の開発方針とそのポイントを示すシステムモデルを提案した。

（2）「単純作業従事時の作業意欲向上」については、モラル向上を目指した教育方法として対人関係による意識変化に着目し、モラルが低下しがちな単純作業について、心理学的知見を応用したモラル向上方法CASPer（Character Agent for Self Persuasion）を提案している。CASPerは、コンピュータ上に社会性を持つソーシャルエージェントを実現し、作業員がエージェントにその作業の重要性を説明して納得させるというゲームを実施することで、作業の重要性に対する自己の納得感の喚起と作業意欲の向上を実現するものである。このCASPerの成立性と作業意欲向上効果を検証するため、PCへの数値入力という単純作業を被験者に課した結果、被験者がソーシャルエージェントを人と見なして作業の重要性を説明することでCASPerの成立性を確認し、さらにCASPerを使用した場合と使用しない場合の作業意欲を比較することでCASPerを使用した場合に認知的不協和の解消プロセスが生じ、作業意欲の向上効果があることを示唆する結果を得た。

（3）「過去の不具合事例活用のためのデータベース作成促進」については、職場のグループ内コミュニケーションに着目したモラル向上のための教育方法を提案している。具体的には、まず、原子力プラントのような安全性が優先される工学システムの保守作業において、過去の不具合事例をデータベースとして蓄積・活用することが重要であることを述べ、作業員のデータベースの作成継続を促進する方法FOAD（Fostering the attachment to database）を提案している。FOADは、作業グループのメンバー各自がコンピュータに入力して作成した独自のデータベースを作業グループのメンバーが閲覧し、その内容に関するポジティブなコメントを返すことで、作成者のデータベースに対する愛着を醸成しデータベース作成継続の意欲を喚起するものである。このFOADの愛着醸成効果を検証するため、40名の被験者をFOAD適用群と非適用群に分けて被験者実験を行った結果、独自のデータベース作成自体が愛着を醸成することを示すと同時に、他者からのポジティブなコメントが愛着の醸成をさらに促進することを示した。